



УДК 004.89

ИСКУССТВЕННЫЕ ИММУННЫЕ СИСТЕМЫ И РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ

Нуриахметов Артур Ильшатович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
г. Уфа Кафедра вычислительной математики и кибернетики, магистрант
nu7530@mail.ru

Богданова Диана Радиковна

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»
г. Уфа Кафедра вычислительной математики и кибернетики, к.т.н., доцент
dianochka7bog@mail.ru

Аннотация

В данной статье проведён анализ существующей, русскоязычной литературы по теме искусственных иммунных систем (AIS). Дано краткое определение AIS, а также дана их краткая классификация. Поднят вопрос об актуальности и практической зрелости данной методики в решении различных практических задач, в частности проанализирована возможность применения искусственных иммунных систем в рамках решения задачи распознавания эмоций. Проанализирована область применения AIS, наиболее часто используемые модели, а также резюмированы основные публикационные работы.

Ключевые слова: искусственные иммунные системы, отрицательный отбор, алгоритм клонарной селекции, распознавание эмоций, искусственный интеллект.

ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEMS AND EMOTION RECOGNITION

Artur I. Nuriakhmetov

Ufa State Aviation Technical University (USATU), Department of Computational Mathematics and Cybernetics, master's student
nu7530@mail.ru

Diana R. Bogdanova

Ufa State Aviation Technical University (USATU), Ufa, Russia, Department of Computational Mathematics and Cybernetics, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
dianochka7bog@mail.ru

ABSTRACT

This article analyzes the existing, Russian-language literature on the topic of artificial immune systems (AIS). A brief definition of AIS and a classification is given. A question was raised about the relevance and practical maturity of this technique for solving various practical problems, in particular, article examines the possibility of using artificial immune systems for solving problems of emotion recognition. It analyzes the scope of AIS, the most commonly used model and summarizes the main publication.

Key words: artificial immune systems, negative selection, clonal selection algorithm, emotion recognition, artificial intelligence.

Введение

За последние время, исследования в сфере машинного обучения и искусственного интеллекта значительно увеличились в своем количестве. Так, на протяжении нескольких последних лет, данные разделы и их подразделы не покидали вершины кривой Гартнера [1]. На фоне данного роста, активно стали развиваться всевозможные классы искусственного интеллекта, среди которых находятся и искусственные иммунные системы.

Искусственные иммунные системы (от англ. – Artificial immune system) – есть не что иное, как попытка использовать механизмы биологического иммунитета для решения различных прикладных задач. Ключевой особенностью AIS является ее адаптивный характер, то есть возможность адаптировать свое поведение, в зависимости от внешних условий, с целью достижения наилучшего результата. Именно поэтому, наибольший интерес вызывает возможность применения данных систем для решения всевозможных сложных задач, которые весьма плохо решаются при помощи использования различных классических методов. Одной из таких задач как раз и является задача распознавания эмоций.

Задача распознавания эмоций является весьма сложной, но в тоже время очень важной и актуальной, в силу больших возможностей её применения. Так, распознавание эмоций может использоваться как в задачах оценки качества в различных сферах обслуживания, так и в некоторых задачах безопасности, предотвращая угрозу на ранних этапах, за счет полученного анализа эмоций. К основным проблемам данной задачи можно отнести проблему широкого спектра человеческих эмоций, а также проблему человеческой уникальности, поскольку разные люди способны проявлять одни и те же эмоции по-разному. Именно поэтому, зачастую, многие системы попросту нельзя обучить распознавать эмоции в полной мере, поскольку, на определенных этапах существования они будут сталкиваться все с большим количеством ранее не виданных проявлений, уже знакомых данной системе, эмоций. В тоже время, данную проблему можно было бы решить, если бы система была адаптивной, то есть способной к изменениям в соответствии с новыми поступающими данными. Поэтому, весьма интересным становится вопрос о применении искусственных иммунных систем в рамках решения задачи распознавания эмоций.

Стоит отметить, что область искусственных иммунных систем является относительно новой, поскольку широкое и массовое применение в различных задачах

системы AIS нашли лишь только в последние десять лет, и именно поэтому анализ текущих публикаций по данной тематике является весьма актуальной темой. Поскольку он может дать ответ на вопрос, касательно зрелости данной области в рамках ее применения для решения различных, сложных, практических задач, в частности, как уже ранее упоминалось, для решения задачи распознавания эмоций.

AIS и их виды

Биологическая иммунная система представляет из себя сложную, адаптивную систему, которая развивалась на протяжении многих миллионов лет, и которая способна защитить организм от чужеродных и враждебных патогенов. Одной из основных задач биологической иммунной системы является задача классификации клеток и молекул, то есть задача распознавания множества различных антигенов, от вирусов, до паразитических червей. Данная задача весьма серьезно усложняется в силу постоянной эволюции и адаптации антигенов, которые находят все больше новых методов заражения организма. Именно поэтому биологические иммунные системы находятся в режиме постоянной адаптации под новые виды возможных угроз. Данный интересный факт привлек внимание не только иммунологов, но также и специалистов в области технических наук, результатом работы которых стала новая теория, именуемая искусственными иммунными системами.

Искусственные иммунные системы представляют из себя определённый класс вычислительных систем, в основе которых лежат некоторые концепции работы биологической иммунной системы. Такие системы, как и их биологический источник, являются адаптивными и способны решать множество различных задач, начиная от задач классификации и заканчивая задачами обнаружения компьютерных вирусов. Стоит заметить, что поскольку AIS сильно полагаются на биологическую систему иммунитета, то для понимания данной теории необходимы некоторые знания о том, как работает иммунитет живых организмов, в частности, иммунитет животных [2].

Сегодня принято выделять несколько вычислительных моделей, которые основаны на принципах работы иммунной систем. Но наиболее часто использует следующие 3 модели.

Одной из таких моделей является алгоритм отрицательного отбора, который основан на способности клеток обнаруживать неизвестные антигены, не реагируя на собственные клетки. Во время генерации Т-лимфоцитов, рецепторы образуются в результате псевдослучайной генетической перестройки. Затем они подвергаются цензуре в тимусе, называемой отрицательным отбором. Там Т-клетки, которые реагируют против собственных белков, разрушаются; то есть тимус могут покинуть только те Т-лимфоциты, которые не связываются с собственными белками. Далее, созревшие Т-клетки циркулируют по всему телу для выполнения иммунологических функций и защиты организма от чужеродных антигенов [3]. Алгоритм отрицательного отбора нашел себе наилучшее применение в проблемных областях распознавания образов.

Достаточно часто применяют теорию клонарной селекции, которая основывается на особенностях ответа иммунной системы на антигенный стимул. Суть данной идеи состоит в том, что пролиферируют только те клетки, которые способны хорошо распознавать антигенный стимул, тем самым, эти клетки отбираются от тех, которые не способны на это. В роли этих клеток могут выступать как Т-клетки, так и В-клетки [3]. Данный алгоритм наиболее часто применяют в задачах классификации, а также оптимизации.

Еще одной немало важной моделью является теория иммунных сетей, основой для которой служит идиотипическая сеть взаимосвязанных В-клеток для распознавания антигена. Данная разновидность применяется во множестве областей, среди которых: кластеризация, визуализация данных, оптимизация и нейронные сети.

Помимо данных 3 моделей существуют и другие, но на текущий момент наибольшее внимание исследователей приковано именно к этим выше описанным подходам.

Постановка задачи

Возвращаясь к задаче распознавания эмоций, нельзя не отметить тот факт, что данная задача является весьма сложной и трудно формализуемой. Поэтому ее решение при помощи использования классических методов не всегда дает желанные результаты. С другой стороны, искусственные иммунные системы, за счет своего адаптивного характера, могут послужить весомым инструментом для решения данной задачи. Именно поэтому, основной целью данной работы является предварительный анализ сферы искусственных иммунных систем, их областей применений, а также наиболее часто используемых методов для решения практических задач. Данный анализ, позволит сформировать определенную картину о текущем положении дел в сфере искусственных иммунных систем, а также сможет дать некие ответы на вопрос о зрелость данных методик в рамках решения различных практических задач, в частности, в рамках решения задачи распознавания эмоций.

Общий анализ публикационной активности

Переходя к анализу какой-либо области, пожалуй, никак нельзя оставить без внимания публикационную активность в рамках данной сферы. Поскольку, она может дать исследователю некое представление о том, насколько развитой, а также интересной для других исследователей, является интересующая его область.

Так, перейдем к анализу публикационной активности по теме искусственных иммунных систем. В качестве электронного ресурса будем использовать российскую научную электронную библиотеку eLibrary. Данная платформа является одной из крупнейших научных электронных библиотек в России, а также она интегрирована с Российским индексом научного цитирования, что является немало важным плюсом для проведения анализа публикаций. Помимо этого, данная электронная библиотека располагает удобной поисковой системой, с функцией поиска по ключевым словам. Именно поэтому основой для проведения анализа публикаций в данной статье станет электронная библиотека eLibrary.

Так, на данный момент платформа eLibrary насчитывает более 150 различных русскоязычных публикаций по теме искусственных иммунных систем (рис. 1).

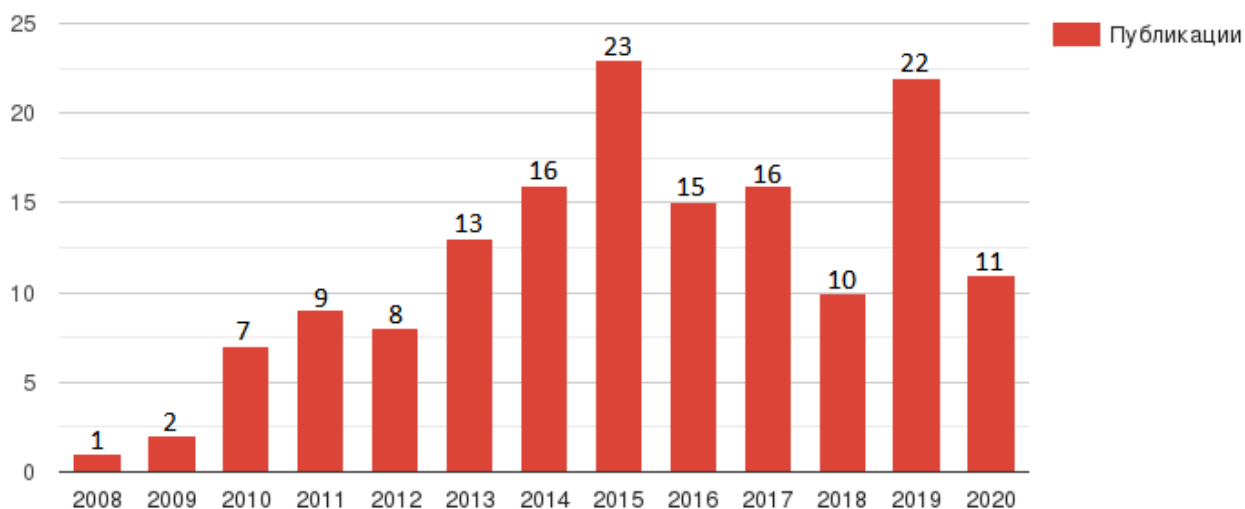


Рисунок 1. Диаграмма распределения русскоязычных публикаций по годам

Наиболее часто цитируемой и самой первой русскоязычной книгой на портале eLibrary является книга Института вычислительной математики им Г.И. Марчука [4] датируемая 2006 годом. В рамках данной книги рассматриваются механизмы и принципы работы AIS по различным направлениям решаемых задач. Стоит отметить, что данная книга насчитывает более 200 цитирований в РИНЦ. Данный факт легко обосновывается тем, что в этой книге присутствуют фундаментальные, базовые знания в области искусственных иммунных систем необходимые для построения собственного решения по данной тематике.

Самой первой статьей является [5], которая была опубликована в 2008 году. В ней, автор рассматривает вопрос о разработке дистанционно образовательных технологий на основе искусственных иммунных систем. Начиная с 2013 года, число публикаций варьируется в пределах от 10 и более публикаций в год, при этом пик приходится на 2015 и 2019 год, которые насчитывают более 20 публикаций. Стоит также отметить, что с 2014 по 2017 год число публикаций не опускалось ниже 15. Данную тенденцию легко можно описать тем, что в 2014-2017 годах происходил небывалый рост интереса к сфере машинного обучения и искусственного интеллекта, что наглядно фиксирует кривая Гартнера (рис. 2), которая представляет из себя некий цикл зрелости технологий, вершина которого отражает факт наибольшей заинтересованности общественности, и именно на вершине данной кривой, на протяжении двух лет с 2015 по 2017, находилось машинное обучение [1].



Рисунок 2. Кривая Гартнера за 2016 год

Всего же, электронная библиотека насчитывает более 350 публикаций на разных языках в области искусственных иммунных систем (рис. 3), первая из которых была опубликована в 2000 году [6]. В период с 2000 по 2010 годы количество публикаций было весьма малым и многие из них характеризовались ознакомительным характером с новыми методами и их архитектурами. А начиная с 2010 число публикаций значительно выросло, нося осциллирующий характер, и достигло своего текущего пика в 2019 году с более чем 35 публикациями.

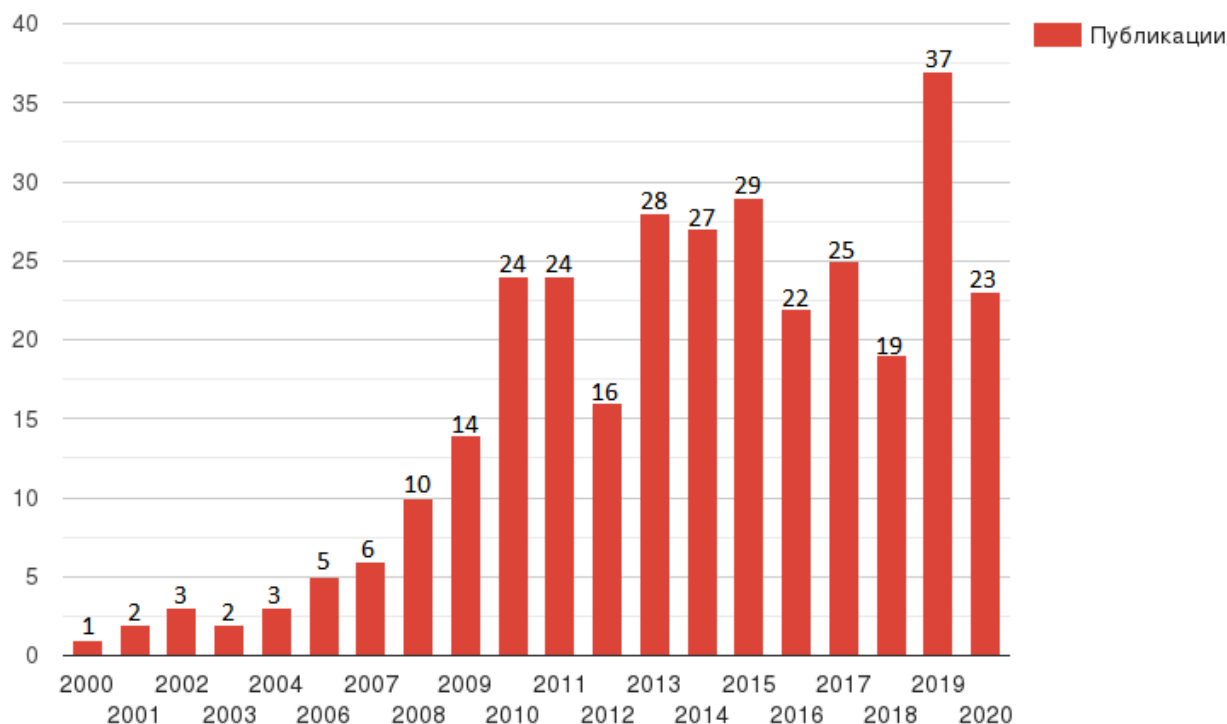


Рисунок 3. Диаграмма распределения публикаций по годам на всех доступных языках

Таким образом, анализируя общую активность публикаций в сфере искусственных иммунных систем, можно заметить, что не смотря на достаточно раннее появление первых научных публикаций по данной тематике, по-настоящему широкий интерес исследователей к данной области начал проявляться лишь только на протяжении последних 10 лет, что является весьма не малым временным периодом. Поэтому, можно заключить, что сфера искусственных иммунных систем, не смотря на свою относительную молодость, уже имеет не мало различных публикаций, которые могут послужить прочным фундаментом для последующих исследовательских работ.

Анализ ключевых публикаций

Немало важным, является анализ ключевых, наиболее цитируемых публикаций. Поскольку именно анализ различных публикаций, статей и книг, может позволить составить исследователю полноценную картину об интересующей его области, а также об ее сфере применения и некоторых особенностях практических реализаций.

Перейдем к анализу наиболее часто цитируемых русскоязычных публикаций. Для этого все также будем использовать электронную библиотеку eLibrary. Так, как уже ранее упоминалось, наиболее часто цитируемой книгой в рамках тематики искусственных иммунных систем является [4], которая раскрывает фундаментальные понятия и принципы работы AIS. А вот наиболее часто цитируемой статьей является [7] опубликованная в 2010 году. В данной статье рассматривается задача прогнозирования временных рядов на основе использования искусственной иммунной системы, в частности, в ней представлена реализация алгоритма клонированного отбора для выполнения данной задачи.

Также, довольно часто цитируется [8] под авторством Брюхомицкого Ю.И. В данной статье автором решается задача поиска потенциально нелегитимных процессов, которые могут представлять из себя угрозу информационной безопасности. В качестве модели для искусственной иммунной системы автор использует модель отрицательного отбора, которая, по его мнению, является наиболее часто применяемой в сфере компьютерной безопасности. Стоит отметить, что Брюхомицкий Ю.И. имеет более 10 различных публикаций в сфере искусственных иммунных систем. Еще одной хорошо цитируемой статьей является [9]. Данная статья, как и предыдущая посвящена защите информации и также имплементирует алгоритм отрицательного отбора. В ней дается описание использованного алгоритма, проблем, которые возникли при его реализации, а также полученных результатов.

В целом, в категории статей посвященных искусственным иммунным системам легко прослеживается доминирующая тенденция реализации данных систем для решения различных задач информационной безопасности. При этом, для решения задач информационной безопасности можно встретить имплементацию не только алгоритма отрицательного отбора, но и клонарной селекции. Так, [10] посвящена именно этой теме, и данная статья не является единственной.

Помимо задач информационной безопасности в публикациях рассматриваются и другие, поскольку искусственные иммунные системы решают различное множество задач. Так, можно встретить не малое количество статей посвящённых решению задач распознавания образов, оптимизации, анализу рисков, аномалий или же вовсе различные уникальные области применения. Таким образом, большинство статей по данной тематике решает большое множество самых интересных и различных задач, от верификации рукописного текста [11] и личности по голосу [12], до задач обнаружение уязвимости интерфейсов беспилотных транспортных средств [13], что лишь только подчеркивает широкий спектр применения искусственных иммунных систем.

Нельзя забывать и про обзорные статьи, целью которых является раскрытие механизмов работы искусственных иммунных систем, как с точки зрения различных прикладных областей, так и в абстракции от них. Так, одной из самых новых публикаций по данной тематике является [14], в которой происходит рассмотрение принципов работы трех основных методов AIS, а именно: отрицательного отбора, клонарной селекции и теории иммунной сети. Здесь же, стоит отметить что помимо этих 3 теорий существуют и другие, такие как теория опасности [15], дендритный алгоритм [16] и другие, но именно эти 3 теории на данный момент является доминирующими и покрывают почти весь спектр решаемых задач.

Заключение

Таким образом, можно подвести краткий итог проведенного анализа, по результатам которого можно смело сделать вывод о том, что область искусственных иммунных систем, за последние 10 лет сформировалась в действительно весомый инструмент, который способен решать широкий спектр различных задач. На данный момент уже имеется огромный пласт всевозможных публикаций, которые демонстрируют практическую состоятельность данных систем, а также дают необходимую, базовую теорию для построения собственных решений. Одной из наиболее часто используемой областью для искусственных иммунных систем является область информационной безопасности. А

наиболее часто используемыми методами являются методы: клональной селекции, отрицательного отбора и алгоритм иммунной сети. Оставшимся же разновидностям, среди которых: положительный отбор, теория опасности и дендритный алгоритм, посвящено в значительной мере меньше публикаций, что может говорить либо об их слабой эффективности, высокой сложности или же вовсе об их не достаточной изученности.

Искусственные иммунные системы смогли показать положительные результаты во многих прикладных областях, тем самым, еще раз подтверждая свою практическую значимость и свой адаптивный характер, способный улучшить точность решений многих задач. Поэтому, можно предположить, что искусственные иммунные системы смогут оказаться эффективным инструментом для решения задачи распознавания эмоций. Так, дальнейшим направлением исследования будет являться полноценная реализация одной из моделей AIS для решения практических задач в области распознавания эмоций.

Результаты исследований, приведенные в статье, получены в рамках выполнения грантов РФФИ 18-07-00193, 19-07-00709 и государственного задания № FEUE-2020-0007.

Список литературы

1. Gartner Hype Cycle [Электронный ресурс] //Gartner. – Режим доступа: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
2. Timmis J. et al. An overview of artificial immune systems //Computation in Cells and Tissues. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. – С. 51-91.
3. Al-Enezi J. R., Abbod M. F., Alsharhan S. Artificial immune systems-models, algorithms and applications. – 2010.
4. Дасгупта Д., Романюха А. А., Руднев С. Г. Искусственные иммунные системы и их применение //М.: Физматлит. – 2006.
5. Самигулина Г. А. Разработка дистанционной образовательной технологии на основе искусственных иммунных систем //Открытое образование. – 2008. – №. 6.
6. King R. L. et al. An artificial immune system model for intelligent agents //Future Generation Computer Systems. – 2001. – Т. 17. – №. 4. – С. 335-343.
7. Демидова Л. А., Корячко А. В., Скворцова Т. С. Модифицированный алгоритм клонального отбора для анализа временных рядов с короткой длиной актуальной части //Системы управления и информационные технологии. – 2010. – Т. 42. – №. 4-1. – С. 131-136.
8. Брюхомицкий Ю. А. Мониторинг информационных процессов методами искусственных иммунных систем //Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2012. – Т. 137. – №. 12 (137).
9. Жуков В. Г., Жукова М. Н., Коромыслов Н. А. Применение нечетких искусственных иммунных систем в задаче построения адаптивных самообучающихся средств защиты информации //Сибирский журнал науки и технологий. – 2012. – №. 1 (41).
10. Жуков В. Г., Саламатова Т. А. Об эффективности применения алгоритма искусственных иммунных систем с клональной селекцией в задаче автоматизированного обнаружения инцидентов информационной безопасности //Решетневские чтения. – 2013. – Т. 2. – №. 17. – С. 290-292.

11. Брюхомицкий Ю. А., Абрамов Е. С. Верификация рукописных текстов с использованием иммунологических и нейросетевых технологий // Вопросы защиты информации. – 2019. – № 4. – С. 31-37.
12. Брюхомицкий Ю. А., Федоров В. М. Иммунологический метод текстонезависимой верификации личности по голосу // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2019. – № 5.
13. Скатков А. В., Моисеев Д. В., Брюховецкий А. А. Модель обнаружения уязвимостей интерфейсов беспилотных транспортных средств на основе искусственных иммунных систем // Дистанционные образовательные технологии. – 2020. – С. 416-418.
14. Камбулов Д. А., Дьяченко Н. В., Акушуев Р. Т. Анализ существующих алгоритмов искусственной иммунной системы // Modern Science. – 2019. – № 5-2. – С. 190-193.
15. Aickelin U., Cayzer S. The danger theory and its application to artificial immune systems // arXiv preprint arXiv:0801.3549. – 2008.
16. Greensmith J., Aickelin U., Cayzer S. Introducing dendritic cells as a novel immune-inspired algorithm for anomaly detection // International Conference on Artificial Immune Systems. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. – С. 153-167.

Reference

1. Gartner Hype Cycle [Electronic resource]. // Gartner. – Access mode: <https://www.gartner.com/en/research/methodologies/gartner-hype-cycle>
2. Timmis J. et al. An overview of artificial immune systems // Computation in Cells and Tissues. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2004. – С. 51-91.
3. Al-Enezi J. R., Abbod M. F., Alsharhan S. Artificial immune systems-models, algorithms and applications. – 2010.
4. Dasgupta D., Romanyukha A. A., Rudnev S. G. Artificial immune systems and their application // М.: Fizmatlit. – 2006. [in Russian].
5. Samigulina G.A. Development of distance educational technology based on artificial immune systems // Open education. – 2008. – No. 6. [in Russian].
6. King R. L. et al. An artificial immune system model for intelligent agents // Future Generation Computer Systems. – 2001. – V. 17. – № 4. – С. 335-343.
7. Demidova L.A., Koryachko A.V., Skvortsova T.S. Modified clonal selection algorithm for analyzing time series with a short length of the relevant part // Control systems and information technologies. – 2010. – V. 42. – No. 4-1. – S. 131-136. [in Russian].
8. Bryukhomitskiy Y. A. Monitoring information processes by methods of artificial immune systems // Bulletin of the Southern Federal University. Technical science. – 2012. – V. 137. – No. 12 (137). [in Russian].
9. Zhukov V.G., Zhukova M.N., Koromyslov N.A. Application of fuzzy artificial immune systems in the problem of constructing adaptive self-learning information security tools // Siberian Journal of Science and Technology. – 2012. – No. 1 (41). [in Russian].
10. Zhukov V.G., Salamatova T.A. On the effectiveness of the application of the algorithm of artificial immune systems with clonal selection in the problem of automated detection of information security incidents // Reshetnevskie readings. – 2013. – V. 2. – No. 17. – S. 290-292. [in Russian].

11. Bryukhomitsky Y.A., Abramov E.S. Verification of handwritten texts using immunological and neural network technologies // Questions of information security. - 2019. - No. 4. - S. 31-37. [in Russian].
12. Bryukhomitsky Y.A., Fedorov V.M. Immunological method of text-independent verification of personality by voice // Izvestia SFedU. Technical science. - 2019. - No. 5. [in Russian].
13. Skatkov A.V., Moiseev D.V., Bryukhovetskiy A.A. A model for detecting vulnerabilities in the interfaces of unmanned vehicles based on artificial immune systems. Remote educational technologies. - 2020. - S. 416-418. [in Russian].
14. Kambulov D.A., Dyachenko N.V., Akushuev R.T. Analysis of existing algorithms of the artificial immune system // Modern Science. - 2019. - No. 5-2. - S. 190-193. [in Russian].
15. Aickelin U., Cayzer S. The danger theory and its application to artificial immune systems // arXiv preprint arXiv:0801.3549. - 2008.
16. Greensmith J., Aickelin U., Cayzer S. Introducing dendritic cells as a novel immune-inspired algorithm for anomaly detection // International Conference on Artificial Immune Systems. - Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. - S. 153-167.